



## DEPURACIÓN DE UN HIDROCARBURO ALIFÁTICO DERIVADO DEL PETRÓLEO

### PURIFICATION OF AN ALIPHATIC HYDROCARBON DERIVED FROM PETROLEUM

F.V. López-Rocafuerte<sup>1\*</sup>, J.P. Fierro-Aguilar<sup>1</sup>, M.F. López-Sarzosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.

Recibido 9 de Junio de 2017; Aceptado 6 de Enero de 2018

#### Resumen

El petróleo contiene hidrocarburos y otros compuestos como nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales, por tanto, no es posible establecer una composición fija de esta mezcla. En la refinación del petróleo, hay fracciones que contienen contaminantes que usarlos es complicado. Este trabajo estudió la depuración ácida de un hidrocarburo alifático para obtener un solvente que sea aplicado en la industria de recubrimientos. En la sección introducción se definió el problema que tiene relación con la limitada oferta de solventes; además, rigurosos procedimientos de control que debe cumplir la empresa que maneja solventes considerados precursores químicos; consecuentemente, el objetivo del presente trabajo fue obtener un solvente alifático mediante un proceso químico. La sección material y métodos, detalla las materias primas usadas: hidrocarburo alifático, ácido sulfúrico, hidróxido de sodio y tierra filtrante. En el diseño experimental se realizaron tres tratamientos considerando como factor la variación de la cantidad de ácido. En la sección resultados y discusión, se utilizó el análisis de varianza para validar el proceso elegido; en esta investigación, se escogió el tratamiento dos como la mejor opción, siendo 0.065 gr de ácido sulfúrico/gr de diésel, la relación másica utilizada. Finalmente, el solvente obtenido fue evaluado en dos formulaciones de pintura.

*Palabras clave:* depuración; hidrocarburo alifático; precursor químico; refinación; tratamiento.

#### Abstract

Oil contains hydrocarbons and small amounts of other compounds such as nitrogen, sulfur, oxygen and some metals, so it is not possible to establish a fixed composition of this mixture. In oil refining, there are fractions that may contain contaminants that use them directly is complicated. This study studied the acid purification of an aliphatic hydrocarbon to obtain a solvent that is applied in the coatings industry. The introduction section defined the problem related to the limited supply of solvents; In addition, rigorous control procedures to be met by the company handling solvents considered chemical precursors; consequently, the objective of this study was to obtain an alternative aliphatic solvent through a chemical process. The material and methods section, details the raw materials used: aliphatic hydrocarbon, sulphuric acid, sodium hydroxide and filtering earth. In the experimental design three treatments were made and the variation of the amount of acid was considered as a factor. In the section results and discussion, the analysis of variance was used, as a technique to validate the chosen process, being the treatment two selected as the best option, which allowed posteriori, that the solvent obtained is evaluated in two formulations of paint.

*Keywords:* aliphatic hydrocarbon; chemical precursor; debugging; refining; treatment.

## 1 Introducción

Durante el siglo XIX la importancia e impacto del petróleo en el ámbito económico y social llevaron al estudio especializado del petróleo a través de una nueva rama de la química, la petroquímica; sin embargo, en el siglo XX se acelera su desarrollo con la generación de una enorme cantidad de productos como plásticos, diversidad de materiales, ropa y un

sinnúmero de productos más. (Gutiérrez y col., 2010). El petróleo es uno de los recursos más valorados en la época actual, dado que provee de una amplia gama de materiales: Medicamentos, plásticos, textiles, colorantes y combustibles, además, permite generar nuevos productos con los que interactúa diariamente.

La limitación de la comercialización de solventes aplicados en la industria es una situación recurrente que provoca una limitada oferta de productos que se utilizan en el área de recubrimientos industriales

\* Autor para la correspondencia. E-mail: franklin.lopezr@ug.edu.ec  
doi: 10.24275/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2018v17n2/Lopez  
issn-e: 2395-8472

y afines, pues gran parte de estos solventes son controlados por un Organismo de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas y las exigencias sobre el manejo y el control son cada vez más exigentes. En muchos casos, el desabastecimiento es crítico que algunas industrias que elaboran pinturas, diluyentes, adhesivos, productos de limpieza, etc., han dejado de elaborar productos porque no pueden entregarlos oportunamente; esto origina mala gestión e incumplimiento de la organización, así como deterioro de su imagen y disminución de su competitividad. Inclusive hay empresas que han cerrado líneas de producción por escasez de ciertos solventes, usados como materias primas.

El objetivo general de este trabajo es obtener un solvente alifático alternativo empleando un proceso experimental de depuración química.

La premisa que se establece es: "El someter un hidrocarburo alifático a un proceso de depuración química permite producir un solvente alternativo para que pueda ser utilizado en el área industrial de recubrimientos y afines."

Bautista (2009) afirma "La operacionalización de las variables se refiere a la definición de las mismas en función del estudio que se realiza, para hacer factible su uso, observación, registro y de ser posible medirlas o cuantificarlas en el proceso investigativo." Para este caso, la variable independiente considerada es: diseño de un proceso químico para depurar un hidrocarburo aromático; la dependiente: determinación de un proceso químico de depuración pertinente. Entre los indicadores empleados se tiene: Densidad en grados API, punto de inflamación, punto inicial de ebullición y punto ebullición con 90% de volumen recogido.

Bogomòlov (1984) Sostiene que "de acuerdo con la teoría orgánica del origen del petróleo, la fuente de su formación la constituyen los restos orgánicos de organismos vegetales y animales que habitaban tanto en el seno de agua (plancton) como en el fondo de depósitos de agua (bentos)."

El análisis de los datos modernos evidencia que el petróleo representa una combinación de dos grupos de compuestos únicos. Al primer grupo pertenecen los compuestos con estructura de las moléculas de la materia orgánica inicial. El segundo lo integran los compuestos formados en procesos de transformación de la materia orgánica. (Bogomòlov, 1984, pág. 50)

En la mayoría de los casos las fracciones obtenidas por destilación primaria y por procesos secundarios de refinación del petróleo no representan productos comerciales acabados. Contienen toda clase de impurezas cuya presencia convierte las fracciones

de gasolina, queroseno, diésel para motores y aceite lubricantes en no correspondientes a las condiciones e inadecuadas para su utilización. Con el fin de eliminar las impurezas indeseables los productos derivados del petróleo se someten a depuración.

### 1.1 Métodos químicos de depuración

**Depuración por ácido sulfúrico:** Los métodos de depuración dependen de la naturaleza del derivado del petróleo y de su uso final. La aplicación de la depuración ácida es con la finalidad de eliminar los componentes indeseables de las fracciones de petróleo. Sin embargo, esta aplicación viene acompañada de considerables pérdidas de productos debido a que se polimerizan, se disuelven en el ácido o se convierten en alquitrans ácidos. Por tanto, ésta es una de las razones que motiva la búsqueda de nuevos procedimientos de depuración ácida con la intención de minimizar el uso de ácido sulfúrico en el proceso referido. En presencia de ácido sulfúrico, los hidrocarburos también provocan reacciones secundarias que reducen la eficacia de la depuración; entre éstas tenemos la alquilación, la polimerización y la polimerización conjugada.

**Depuración por álcali:** La depuración álcali se la utiliza para eliminar compuestos ácidos y sulfurosos de los derivados del petróleo. Entre los compuestos ácidos que puede contener los derivados del petróleo están: 1) ácidos nafténicos y grasos; 2) ácidos aparecidos en la depuración con ácido sulfúrico, a saber: ácido sulfúrico, ésteres ácidos del ácido sulfúrico, ácidos sulfónicos y ácidos naftenosulfónicos. Entre los compuestos sulfurosos se cuenta el sulfuro de hidrógeno y los mercaptanos inferiores. Con otros componentes de los derivados del petróleo, el álcali no reacciona.

## 2 Antecedentes de la investigación

---

Es importante recalcar que, en internet y otros medios, se ha buscado y revisado exhaustivamente trabajos similares pero ha sido infructuosa la pesquisa; no obstante, se ha adjuntado trabajos que han sido propuestos, con anterioridad, por otros autores desde diferentes puntos de vista. A continuación, se detalla las sinopsis de publicaciones de artículos científicos.

### 2.1 *Procesos con hidrógeno para el refinado de petróleo*

“Las hidrogenaciones catalíticas se realizan en varias etapas del refinado del petróleo: depuraciones e hidrocraqueos. Estos últimos constituyen una de las vías para el tratamiento de fracciones pesadas que les dan a éstas mayor valor añadido. La definición y clasificación de tales hidrogenaciones son asuntos de interés y de actualidad. Por una parte, es frecuente la necesidad de depurar materias primas, productos intermedios y productos finales en varias etapas del refinado de petróleo. Ello se hace mediante hidrogenaciones en la mayoría de los casos” (Pechuán Villavalba y col., 2008).

### 2.2 *Microbiología del petróleo y sus derivados*

“El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos, es decir, de compuestos ricos en carbono e hidrógeno, aunque contiene otros elementos minoritarios como azufre, oxígeno y nitrógeno, así como trazas de metales. Para la industria petroquímica, la propiedad física del petróleo más importante es la temperatura de ebullición ya que sus componentes suelen ser separados por destilación mediante el incremento de la temperatura en etapas. Una vez separadas a temperaturas específicas, cada fracción es sometida a diferentes procesos de purificación, dependiendo el uso al que estén destinadas. El contenido de azufre y de metales pesados afecta el valor del petróleo crudo y de sus fracciones, ya que los procesos de remoción son costosos” (Valderrama).

### 2.3 *Petróleo y biotecnología: análisis del estado del arte y tendencias*

“Las tecnologías registradas en Cuba en etapa de investigación, pero con importantes proyecciones, fueron: la recuperación mejorada del petróleo, la obtención de biodiésel y biogás y la eliminación de los metales pesados del petróleo por microorganismos. La tecnología reconocida en etapa de implantación en la industria nacional fue la biorremediación” (Bonell, 2009).

### 2.4 *La biotecnología actual y su impacto en la industria de la refinación del petróleo*

“El presente artículo provee un panorama general de la situación de la biotecnología actual y su futuro impacto en la industria de la refinación del petróleo. La refinación del petróleo presenta actualmente varios retos como son la disminución de las reservas petroleras, los precios variables del crudo, el aumento en la demanda de combustibles limpios y petroquímicos así como una normativa internacional más estricta para la conservación del medio ambiente. Estos retos persistirán y se intensificarán en los próximos años. El éxito de la biotecnología en otras ramas industriales motivó la investigación en biotecnologías aplicadas a la industria de la refinación como una tecnología complementaria o alternativa en la resolución de los mencionados retos y necesidades” (Aburto y col., 2003).

### 2.5 *Análisis de la distribución de azufre en productos, emisiones de SO<sub>x</sub> y la recuperación del mismo en el sistema nacional de refinación*

“La principal razón y motivo por el cual se desea recuperar el azufre del crudo procesado es la protección al ambiente, debido a que el azufre cuando se quema se transforma en dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) este se libera a la atmósfera donde tiene efectos tóxicos (Gary 2001) y de deterioro para el ambiente” (Alcantar González y Cruz Gómez, 2011)

### 2.6 *Biodegradación de desechos del refinamiento del petróleo a base de microorganismos eficientes, EM*

“Los desechos provenientes del refinamiento del petróleo son considerados peligrosos por los efectos negativos que causan en el ambiente y en el ser humano. La incorrecta disposición de los hidrocarburos de desecho puede contaminar cuerpos de aguas, aguas subterráneas, causar incendios, contaminar suelos y la muerte de flora y fauna. En el mercado existen alternativas para el tratamiento de estos desechos. Sin embargo, la mayoría de estos tratamientos son costosos y/o generan desechos intermedios que aún son peligrosos. El objetivo de esta investigación fue evaluar el uso de microorganismos eficientes, EM, como promotores de la biodegradación de

desechos tipo lodos provenientes del refinamiento del petróleo de RECOPE (Refinería Costarricense de Petróleo) localizada en Moín, Limón, Costa Rica. El experimento se llevó a cabo en la Universidad "EARTH" (Gurdián y Johanning, 2002).

### 2.7 Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diésel con contenido ultra bajo de azufre

“Esta guía autodidáctica aborda los principios fundamentales de la refinación del petróleo y su relación con la producción de combustibles con contenido ultra bajo de azufre, ULSF, en particular la gasolina, ULSG, y el combustible diésel 1, ULSD. Este es el primer producto de un análisis integral de la economía en la producción de ULSG y ULSD, y el suministro de estos combustibles a Brasil, China, India y México, a cargo de HART Energy y MathPro Inc. para el Consejo Internacional sobre Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés). El objetivo de esa guía es (1) brindar un contexto y marco de organización a los fines de un análisis general, (2) identificar los factores técnicos que determinan el costo de refinación para la producción de ULSG y ULSD, y (3) facilitar la interpretación de los resultados del análisis” (Hart Energy y MathPro Inc., 2011).

## 3 Metodología

En este trabajo se utilizan tres tratamientos para elegir aquel que cumpla ciertas exigencias, básicamente desde el punto de vista técnico y ambiental; no está considerado el costo como un factor de evaluación al preferir el mejor método. El solvente obtenido en cada uno de los ensayos de los tres tratamientos es evaluado mediante la determinación de propiedades intensivas como la densidad, el punto de inflamación el punto de inicial de ebullición, entre otras. El tratamiento dos, en el cual se utiliza 15 mililitros de ácido sulfúrico, fue elegido como la mejor opción de depuración química.

## 4 Procedimiento experimental

Antes de iniciar el ensayo respectivo, tanto el equipo como los materiales utilizados fueron revisados minuciosamente con el propósito de asegurar que todo

el proceso se cumpla con pulcritud. Se llevó a cabo tres tratamientos usando un volumen constante de 500 ml de diésel (415 gr) y un volumen variable de ácido sulfúrico al 98%. Se ensayó con 10 ml (18 gr), con 15 ml (27 gr) y 20 ml (36 gr) de ácido, respectivamente. Las relaciones másicas utilizadas de los tratamientos fueron: tratamiento uno, 0.043 gr de ácido/gr de diésel; tratamiento dos, 0.065 gr de ácido/gr de diésel y tratamiento tres, 0.087 gr de ácido/gr de diésel. El rango de velocidades de agitación estaba comprendido de 150 rpm  $\pm$  10 rpm; adicionalmente, cada tratamiento estuvo formado por tres ensayos (repeticiones), dando un total de nueve. Cabe resaltar que para ejecución de los nueve ensayos, el proceso es básicamente similar; lo único que varía es el volumen de ácido sulfúrico utilizado.

Inmediatamente, se lista las operaciones y procesos unitarios que se realizaron en los tres tratamientos: 1) Sulfonación, 2) Decantación, 3) Lavado, 4) Neutralización, 5) Deseccación y 6) Filtración.

Las propiedades físico-químicas evaluadas en el solvente alifático fueron: densidad relativa a 15.6°C, °API, norma de referencia utilizada ASTM D-1298. Punto de inflamación, °C, norma de referencia ASTM D-93. Punto inicial de ebullición, °C, norma de referencia ASTM D-86. Punto de ebullición recolectado el 90%, °C, norma de referencia ASTM D-86. Porcentaje de residuo, %V, norma de referencia ASTM D-86. Contenido de agua, %V, norma de referencia D-95. Corrosión a la lámina de cobre, norma de referencia D-130.

Los equipos utilizados para determinar las propiedades físico-químicas fueron realizados en el laboratorio de Petróleo de la Facultad de Ingeniería Química el cual está acreditado. A continuación se listan los equipos utilizados

Descripción	Marca	Modelo	Serie	Estado
Destilador	HERZOG	HAD 620	36200288	En uso
Punto de inflamación copa cerrada	HERZOG	HFP 380	33800299	En uso
Hidrómetro 5H °API escala: 39 a 51	KOEHLER /		612245	En uso
Termómetro ASTM 12F	ERTCO		13227	En uso

## 5 Método estadístico

El análisis de la varianza es un método que se emplea para comparar resultados obtenidos por distintos métodos, laboratorios, analistas, etc., cuando el número de medias obtenidas es superior a dos. También permite separar las contribuciones de uno o más factores a la varianza global del sistema. Mediante

el análisis de varianza se puede controlar el error introducido por esta segunda fuente, con lo que se habla de ANOVA de un factor (Jurado, 2008).

El test de Tukey es bastante conocido y aceptado en la literatura. La prueba estadística que utiliza el método de Tukey es la estadística o test de rango estudentizado. Existen tablas para la estadística de rango estudentizado recogen valores de la función de distribución del rango estudentizado,  $Q$ ,  $n$ ,  $m$ , para diferentes valores de  $n$  y  $m$ . (Delgado de la Torre, 2008).

Para este estudio se consideró lo siguiente: Diseño experimental completamente aleatorizado. Factor: concentración de ácido sulfúrico industrial al 98%, con tres tratamientos o niveles. Es un factor de efectos fijos. Se utilizó 10 ml, 15 ml y 20 ml, de ácido sulfúrico industrial al 98% de concentración, respectivamente. Modelo equilibrado: Todos los niveles de los factores tienen el mismo número de repeticiones, que para este caso son tres. Tamaño del experimento: para este caso, se realizaron nueve unidades experimentales y, por cada unidad experimental, se reportaron siete propiedades físico-químicas (variables) de respuesta. Unidad experimental: hidrocarburo alifático.

El procesamiento de la información se realizó mediante el programa estadístico SPSS Versión 22 y la herramienta estadística anova del utilitario Excel, los cuales permitieron presentar datos descriptivos y análisis de las variaciones de medias. Para contrastar la hipótesis se consideró un margen de error del 1% y un nivel de confianza del 99%, correspondientemente.

## 6 Materiales

Para la ejecución de los nueve ensayos se utilizó hidrocarburo alifático, diésel 1, de Refinería de

la Libertad; ácido sulfúrico, grado industrial al 98%, elaborado localmente (Quimpac Ecuador S.A.); hidróxido de sodio al 98% en pellets (J.T. Baker, Sweden); tierra filtrante y de blanqueo comprada localmente (Tonsil, Clariant) y agua potable.

El equipo utilizado fue siguiente: Balanza de precisión; manta de calefacción; agitador magnético; barra/pastilla de agitación; peachímetro digital; vaso de precipitación de vidrio de 100 ml, 250 ml, 500 ml y 1000 ml; probeta de vidrio de 25 ml, 50 ml y 100 ml; bureta de 50 ml; embudo de decantación de 500 ml; embudo de filtración; varilla de vidrio; papel filtro.

## 7 Resultados y discusión

**Análisis:** En la Tabla 1, se muestra un resumen de las propiedades físico-químicas que fueron evaluadas en los tres tratamientos realizados. En lo que tiene relación con la densidad relativa para los tres tratamientos los valores fluctúan entre 42.8 y 43 °API. El punto de inflamación varía entre 48°C y 50 °C. En lo respecta al punto inicial de ebullición, éste se mueve desde 157°C hasta 159°C. Así mismo, en lo concerniente al punto de destilación, una vez que se ha recogido el 90% del volumen destilado, éste varía a partir de 234°C hasta 239°C. En cuanto al porcentaje de residuo que queda en balón de destilación, su valor varía desde 1.6% hasta 1.95%, respectivamente.

Cabe indicar que a las cinco propiedades físico-químicas referidas anteriormente se les aplicará la herramienta de análisis de varianza, Anova, para determinar si hay evidencias de variaciones significativas en ellas. En cambio, debido a que los valores de las propiedades: contenido de agua y corrosión a la lámina de cobre, se mantienen constantes, éstas quedan fuera del análisis referido.

Tabla 1. Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

Propiedad físico-química	Unidad	Método ASTM	TRATAMIENTO UNO								
			CANTIDAD DE ÁCIDO: 10 ml			CANTIDAD DE ÁCIDO: 15 ml			CANTIDAD DE ÁCIDO: 20 ml		
Densidad relativa, 15,6°C	°API	D-1298	43	42,9	43	42,9	42,8	42,9	42,9	42,8	42,9
Punto de inflamación	°C	D-93	49	49	48	50	51	50	49	48	49
Punto inicial de ebullición	°C	D-86	158	159	159	158	157	158	157	157	158
Punto ebullición recolectado 90% volumen	°C	D-86	237	239	237	236	236	235	235	234	235
% Residuo	%v	D-86	1,8	1,9	1,9	1,7	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6
Contenido de agua	%v	D-95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Corrosión a la lámina de cobre		D-130	N° 1A	N° 1A	N° 1A	N° 1A	N° 1A	N° 1A	N° 1A	N° 1A	N° 1A

Fuente: Laboratorio de aguas-petróleo y medio ambiente. Facultad de ingeniería Química.

## 7.1 Aplicación del sistema SPSS para datos descriptivos y la herramienta Anova de un factor

## 7.1.1 Propiedad físico-química a ser evaluada: Densidad en grados API

Tabla 2. Datos descriptivos de la propiedad físico-química densidad

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
10%	3	430,000	0,02000	0,01155	429,503	430,497	42,98	43,02
15%	3	429,300	0,02000	0,01155	428,803	429,797	42,91	42,95
20%	3	429,167	0,01155	0,00667	428,880	429,454	42,91	42,93
Total	9	429,489	0,04167	0,01389	429,169	429,809	42,91	43,02

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

## Contraste de hipótesis:

**$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$**  Hipótesis nula: No hay diferencia significativa entre las densidades medias en °API de los tres tratamientos

**$H_0: \mu_1 \neq \mu_2$**  Hipótesis alternativa Al menos una de las densidades medias en °API de los tratamientos es diferente

Tabla 3. Análisis de varianza de la densidad en grados API

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,012022222	2	0,006011111	1,932,142,857	0,002427716	109,247,665
Dentro de los grupos	0,001866667	6	0,000311111			
Total	0,013888889	8				

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

Tabla 4. Prueba significativa de Tukey

<b>HSD</b>	<b>0,0372169</b>		
MULTIPLICADOR $Q_\alpha$	6,33		
MSE	0,00031111		
TAMAÑO DE GRUPO	3		
	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>
Tratamiento 1		0,07	0,08
Tratamiento 2	-0,07		0,01
Tratamiento 3	-0,08	-0,01	

**Análisis:** De la Tabla 3, se puede observar que para la variable densidad en grados API, referida a 15.6 °C, el F tabulado es mayor que el F crítico; por tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula en un nivel de significancia de 0.01. Como se acepta la hipótesis alternativa, seguidamente, se debe realizar el test de Tukey realizar todos los cotejos por pares entre los grupos.

**Interpretación:** En la Tabla 4, se evidencia

claramente que existe diferencia entre el tratamiento uno 1 y el tratamiento dos. Asimismo, hay diferencia justificada entre el tratamiento uno y el tratamiento tres. En ambos casos, las diferencias de las medias aritméticas de cada uno de los tratamientos, es mayor que la diferencia honestamente significativa, HSD, 0.0372169, que consta en esta tabla. En cambio, no hay diferencia entre el tratamiento dos y el tratamiento tres porque la diferencia es menor al valor HSD.

## 7.1.2 Propiedad físico-química a ser evaluada: Punto de inflamación

Tabla 5. Datos descriptivos de la propiedad físico-química punto de inflamación

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
10%	3	48,67	0,577	0,333	47,23	50,10	48	49
15%	3	50,33	0,577	0,333	48,90	51,77	50	51
20%	3	48,67	0,577	0,333	47,23	50,10	48	49
Total	9	49,22	0,972	0,324	48,48	49,97	48	51

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

## Contraste de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$	Hipótesis nula	No hay diferencia significativa entre los puntos medios de inflamación de los tres tratamientos
$H_0: \mu_1 \neq \mu_2$	Hipótesis alternativa	Al menos uno de los puntos medios de inflamación de los tratamientos es diferente

Tabla 6. Análisis de varianza del punto de inflamación

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5,555,555,556	2	2,777,777,778	8,333,333,333	0,018547731	109,247,665
Dentro de los grupos		2	6	0,333333333		
Total	7,555,555,556	8				

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

**Análisis:** De la Tabla 6, se puede distinguir que para el punto de inflamación, el  $F_{\text{tabulado}}$ , 8.333333, es menor que el  $F_{\text{crítico}}$ , 10.924766. Por ende, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa un nivel de significancia de 0.01.

## 7.1.3 Propiedad físico-química a ser evaluada: Punto inicial de destilación

Tabla 7. Datos descriptivos de la propiedad físico-química punto inicial de ebullición

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
10%	3	158,67	0,577	0,333	157,23	160,10	158	159
15%	3	157,67	0,577	0,333	156,23	159,10	157	158
20%	3	157,33	0,577	0,333	155,90	158,77	157	158
Total	9	157,89	0,782	0,261	157,29	158,49	157	159

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

## Contraste de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$	Hipótesis nula	No hay diferencia significativa entre los puntos medios iniciales de destilación de los tres tratamientos.
$H_0: \mu_1 \neq \mu_2$	Hipótesis alternativa	Al menos uno, de los puntos medios iniciales de destilación de los tratamientos, es diferente.

Tabla 8. Análisis de varianza del punto inicial de ebullición

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Entre grupos</b>	2,888,888,889	2	1,444,444,444	4,333,333,333	0,068463561	109,247,665
<b>Dentro de los grupos</b>		2	6	0,333333333		
<b>Total</b>	4,888,888,889					

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

**Análisis:** De la Tabla 8, se puede distinguir que para el punto de inicial de destilación, el  $F_{\text{tabulado}}$ , 4.333333, es menor que el  $F_{\text{crítico}}$ , 10.924766. Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa en un nivel de significancia de 0.01.

#### 7.1.4 Propiedad físico-química a ser evaluada: Punto de ebullición con 90% de volumen recogido.

Tabla 9. Datos descriptivos de la propiedad físico-química punto ebullición con 90% de volumen recogido

95% del intervalo de confianza para la media								
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
10%	3	238,00	1,000	0,577	235,52	240,48	237	239
15%	3	237,33	0,577	0,333	235,90	238,77	237	238
20%	3	235,67	0,577	0,333	234,23	237,10	235	236
Total	9	237,00	1,225	0,408	236,06	237,94	235	239

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

#### Contraste de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$	Hipótesis nula:	No hay diferencia significativa entre los puntos medios de destilación con el 90% de volumen recogido de los tres tratamientos.
$H_0: \mu_1 \neq \mu_2$	Hipótesis alternativa:	Al menos uno de los puntos medios de destilación con el 90% de volumen recogido de los tratamientos es diferente.

**Análisis:** De la Tabla 10, se puede apreciar que para el punto destilación con 90% de volumen recogido, el  $F_{\text{tabulado}}$ , 7.8, es menor que el  $F_{\text{crítico}}$ , 10.924766. Consecuentemente, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa en un nivel de significancia de 0.01.

Tabla 10. Análisis de varianza del punto ebullición con 90% de volumen recogido

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Entre grupos</b>	8,666,666,667	2	4,333,333,333	7,8	0,021433471	109,247,665
<b>Dentro de los grupos</b>	3,333,333,333		6	0,555555556		
<b>Total</b>		12				

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

#### 7.1.5 Propiedad físico-química a ser evaluada: Porcentaje de residuo.



Tabla 11. Datos descriptivos de la propiedad físico-química porcentaje de residuo

95% del intervalo de confianza para la media								
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
10%	3	18,667	0,05774	0,03333	17,232	20,101	1,80	1,90
15%	3	17,333	0,05774	0,03333	15,899	18,768	1,70	1,80
20%	3	16,333	0,05774	0,03333	14,899	17,768	1,60	1,70
Total	9	17,444	0,11304	0,03768	16,576	18,313	1,60	1,90

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

Contraste de hipótesis:

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$	Hipótesis nula:	No hay diferencia significativa entre los puntos medios de porcentajes de residuos de los tres tratamientos.
Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$	Hipótesis alternativa	Al menos uno de los puntos medios de porcentaje de residuos de los tratamientos es diferente.

Tabla 12. Análisis de varianza del porcentaje de residuo

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,082222222	2	0,041111111	1,233,333,333	0,007489521	109,247,665
Dentro de los grupos	0,02	6	0,003333333			
Total	0,102222222	8				

Fuente: Resumen de propiedades físico-químicas del solvente obtenido

**Análisis:** De la Tabla 12, se puede distinguir que para el porcentaje de residuo, el  $F_{\text{tabulado}}$ , 12,333333, es mayor que el  $F_{\text{crítico}}$ , 10,924766. Entonces, se rechaza la hipótesis nula en un nivel de significancia de 0.01 y, se acepta razonablemente la hipótesis alternativa que indica "Al menos uno de los puntos medios de porcentaje de residuos de los tratamientos es diferente". Seguidamente, se efectuó la prueba significativa de Tukey para determinar cuáles tratamientos causan la(s) diferencia(s) en la prueba de anova reportada en la tabla 1.

Tabla 13. Prueba significativa de Tukey

<b>HSD</b>	<b>0,1218209</b>	
MULTIPLICADOR Q ?	6,33	
MSE	0,0033333	
TAMAÑO DE GRUPO	3	
<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>
Tratamiento 1	0,13	0,23
Tratamiento 2	-0,13	0,10
Tratamiento 3	-0,23	-0,10

Fuente: Tabla 12, análisis de varianza del porcentaje de residuo

**Análisis:** En la Tabla 13, se confirma visiblemente que existe diferencia entre el tratamiento uno y el tratamiento dos. Del mismo modo, hay diferencia

razonable entre el tratamiento uno y el tratamiento tres, pero no hay diferencia entre el tratamiento dos y el tratamiento tres. En ambos juicios, las diferencias de

las medias aritméticas de cada uno de los tratamientos, es mayor que la diferencia honestamente significativa, HSD, 0.1218209, que consta en esta tabla. En contraste, no hay diferencia entre el tratamiento dos y el tratamiento tres, respectivamente.

Con la finalidad de escoger la mejor técnica experimental de depuración química en el presente trabajo de investigación, en base a hecho y datos, se utilizó el método de análisis de varianza para validar técnica y razonablemente el proceso de selección. Para ello, se sometieron a evaluaciones algunas propiedades físicas químicas del solvente obtenido, comprobando estadísticamente que no existía diferencia significativa en las medias del punto de inflamación, punto inicial de ebullición y punto de destilación con 90% de volumen recogido, respectivamente. En cambio, en las otras medias de las propiedades densidad y porcentaje de residuos, imperaban diferencias significativas.

Para culminar con el proceso de investigación se seleccionó el solvente obtenido en el tratamiento dos por ser considerado como el mejor método de depuración. Este solvente fue utilizado en la elaboración de pinturas, por una empresa pymes productora de pinturas, con la finalidad de evaluar sus características y la del producto elaborado. Ver las tablas a continuación.

En lo que respecta a la Tabla 14 y Tabla 15, respectivamente, se han incluido dos formulaciones de pinturas tipo esmalte. Según la opinión del técnico en pinturas "en ambas formulaciones las muestras de pinturas obtenidas cumplen con las especificaciones técnicas requeridas por la empresa Pinturas Pinmaxi S.A."

Es de conocimiento extendido que en la formulación de pinturas no se puede asegurar que ésta es perfecta o representa lo más indicado para cierto uso. La realidad es que teniendo a la mano tan grande variedad de materias primas y procesos, así como el talento de miles técnicos especializados en el mundo, lo factible es que existan muchas fórmulas de composiciones distintas pero que en la práctica den resultados muy similares (Blanco y col., 2005).

## Conclusiones

Los análisis de las variables de salida confirmaron que el tratamiento dos sea elegido como la mejor técnica experimental de depuración química con un tiempo de reacción de 300 minutos, 5 horas, y temperatura media

Tabla 14. Fórmula de pintura esmalte blanco de semibrillo

Material	Ponderación, %
<b>Bióxido de titanio</b>	21,62
<b>Carbonato de calcio</b>	25,95
<b>Oxido de zinc</b>	0,86
<b>Resina alquídica de soya, 70% sólidos</b>	32,87
<b>Naftenato de plomo</b>	0,35
<b>Naftenato de cobalto</b>	0,17
<b>Alcoholes minerales pesados</b>	12,72
<b>Solvente de tratamiento dos</b>	5,46
<b>Suma</b>	100,00
Especificaciones técnicas	
<b>Densidad, kg/galón</b>	4,84 ± 0,2
<b>Concentración volumétrica pig</b>	40%
<b>Viscosidad, 25°C</b>	2,000 ± 200 cPs
<b>Secado (25°C y 50% HR), al tacto</b>	90 min - 120 min

Fuente: Pinturas Pinmaxi S.A

Tabla 15. Fórmula de pintura esmalte blanco de alto brillo

Material	Ponderación, %
<b>Bióxido de titanio</b>	26,96
<b>Carbonato de calcio</b>	1,42
<b>Lecicina de soja</b>	0,41
<b>Resina alquídica soya, 70% sólidos</b>	38,66
<b>Naftenato de plomo</b>	0,61
<b>Naftenato de cobalto</b>	0,31
<b>Alcoholes minerales pesados</b>	14,75
<b>Solvente de tratamiento dos</b>	16,89
<b>Suma</b>	100,00
Especificaciones técnicas	
<b>Densidad, kg/galón</b>	4,46 ± 0,2
<b>Concentración volumétrica pig</b>	15%
<b>Viscosidad</b>	1,4000 ± 200 cPs
<b>Secado (25°C y 50% HR), al tacto</b>	120 - 150 min

Fuente: Pinturas Pinmaxi S.A.

de 50°C ± 5°C; la cantidad de ácido sulfúrico utilizada 15 ml, cuyas principales propiedades físico evaluadas dieron: 42.87°API; punto de inflamación, 50.33°C y punto inicial de ebullición de 157.67°C. Los criterios considerados para la elección del tratamiento fueron: el técnico, porque es pertinente y factible la técnica operatoria, y el ambiental debido a que al usar menos cantidad de ácido sulfúrico, el proceso genera menos contaminación e impacto ambiental. Posteriormente, el solvente obtenido fue utilizado en la elaboración de pinturas a base de resina alquídica con 70% de sólidos cumpliendo con las propiedades físico-químicas requeridas en cuanto a: densidad, concentración volumétrica, viscosidad y tiempo de secado al tacto.

### Nomenclatura

API	American Petroleum Institute
HSD	diferencia honestamente significativa (en español)
m	grados de libertad dentro de los grupos
MSE	promedio de los cuadrados dentro de grupos
n	número de grupo que se analizan
Q	Cuantil de la distribución de Tukey (multiplicador Q alfa)

### Referencias

- Aburto, J., Rojas Avelizapa, N., Quintero Ramírez, R. (2003). La biotecnología actual y su impacto en la industria de la refinación del petróleo. *Biotechnología aplicada* 20, 57-65.
- Alcantar González, F. s., Cruz Gómez, M. J. (Abril de 2011). Análisis de la distribución de azufre en productos, emisiones de SOX y la recuperación del mismo en el sistema nacional de refinación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28, 153-163.
- Bautista, M. E. (2009). *Manual de Metodología de Investigación*. Caracas: Talitip.
- Blanco, A., Sánchez, L., Villegas, L. (2005). *Tecnología de Pinturas y Recubrimientos Orgánicos*. México: Química S.A.
- Bogomòlov, A. (1984). *Química del Petróleo y del Gas*. Moscú: Mir.
- Bonell, S. (2009). Petróleo y biotecnología: Análisis del estado del arte y sus tendencias. *Acimed* (online), XIX(1).

- Delgado de la Torre, R. (2008). *Probabilidad y Estadística para Ciencias e Ingeniería*. Madrid: Publicaciones Delta.
- Gurdián, M., Johanning, T. (2002). Biodegradación de desechos del refinamiento del petróleo a base de microorganismos. Recuperado el 6 de Mayo de Mayo 7, de Universidad EARTH: [http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base\\_datos/biodegradacion\\_de\\_desechos.pdf](http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/biodegradacion_de_desechos.pdf)
- Gutiérrez, M., López, L., Arellano, L. M., Ochoa, A. (2010). *Química orgánica*. México: Pearson, Hart Energy y MathPro Inc.
- Jurado, J. (Abril de 2008). Aplicación de Microsoft excel a la química analítica. Obtenido de <http://personal.us.es/jmjurado/docs/AQAEXCEL.pdf>
- Murillo, F. (Marzo de 2017). Obtenido de [www.uam.es/personal\\_pdi/stmaria/jmurillo/Estadistica/4.%20Análisis%20de%20Varianza.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/Estadistica/4.%20Análisis%20de%20Varianza.pdf)
- Noemí Torres, L. L. (2005). *Fuerzas intermoleculares y propiedades físicas de compuestos orgánicos: Una estrategia didáctica*. Universitaria, Núñez (1428), Buenos Aires, Argentina.: Depto de Ciencias Exactas, Cátedra de Química, Ciclo Básico común.
- Pechuán Villavalba, I., Storch de Gracia y Asensio, J. M. (2008). Procesos con hidrógeno para el refino de petróleo. *Fundación Dialnet*, 459, 134-140. Recuperado el 8 de Abril de 2017, de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/serlet/articulo?codigo=2670377>
- Pinzón, M., Centeno, A., Giraldo, S. (2015). Nuevos catalizadores para eliminación de azufre de fracciones del petróleo. *Researchgate*.
- Tamayo, I. (30 de Marzo de 2017). Universidad de Granada. Obtenido de Universidad de Granada: [www.ugr.es/~imartin/TEMA5\\_ANOVA.pdf](http://www.ugr.es/~imartin/TEMA5_ANOVA.pdf)
- Valderrama, B. (2017). Microbiología del petróleo y sus derivados. En E. Martínez Romero, J. C. Martínez Romero, *Microbios*. México. Recuperado el 5 de Mayo de 2017, de <http://www.biblioweb.tic.unam.mx/libros/microbios/Cap2/>